



(19) RU (11) 2148802 (13) C1

(51) 7 G01J5/38

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Российской Федерации

**Статус: может прекратить действие в соответствии со ст. 30 Патентного закона
(по данным на 28.06.2005)**

- (14) Дата публикации: 2000.05.10
(21) Регистрационный номер заявки: 99101560/28
(22) Дата подачи заявки: 1999.01.27
(24) Дата начала действия патента: 1999.01.27
(46) Дата публикации формулы изобретения: 2000.05.10
(56) Аналоги изобретения: US 5844238 A, 01.12.98. US 5684302 A, 04.11.97. GB 2308887 A, 09.07.97. US 4994672 A, 19.02.97. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов. - М.: Радио и связь, 1985, с.39. 94.
- (71) Имя заявителя: Институт физики полупроводников СО РАН
(72) Имя изобретателя: Базовкин В.М.; Курышев Г.Л.
(73) Имя патентообладателя: Институт физики полупроводников СО РАН
(98) Адрес для переписки: 630090, г.Новосибирск, пр. Акад. Лаврентьева 13, Институт физики полупроводников СО РАН

(54) УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Изобретение относится к области тепловидения и может использоваться как для наблюдения и регистрации тепловых изображений объектов, так и для измерения их температуры. Устройство содержит светопоглощающую пластину с зеркальной поверхностью, обращенной к подложке, закрепленную на фронтальной поверхности диэлектрической или полупроводниковой плоскопараллельной полированной подложки, прозрачной для света в видимой области спектра, с помощью конструкции, содержащей элемент из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения и термоизолирующий элемент, источник видимого света, равномерно освещающий тыльную просветленную поверхность подложки, при этом свет попадает на фронтальную поверхность подложки и зеркальную поверхность светопоглощающей пластины, а отраженные от фронтальной поверхности подложки и зеркальной поверхности светопоглощающей пластины лучи интерferируют, в результате чего интенсивность отраженного света зависит от положения светопоглощающей пластины, определяемого элементом из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения температурой. Устройство содержит фоточувствительный к видимому свету прибор. Подложка с закрепленной на ней светопоглощающей пластиной (или пластинами в матричном варианте) помещена в вакуумный термостат. Техническим результатом является снижение себестоимости и повышение чувствительности. 5 ил.

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Изобретение относится к области тепловидения и может использоваться как для наблюдения и регистрации тепловых изображений объектов, так и для измерения их температуры. В тепловидении используют фотоприемные устройства (устройства регистрации теплового излучения), принцип работы которых основан на тепловых эффектах взаимодействия регистрируемого электромагнитного излучения с веществом. При тепловых эффектах происходит изменение свойств вещества из-за изменения его температуры в результате поглощения излучения.

Известны тепловые фотоприемные устройства, использующие электрическое или оптическое

считывание информации. К первым можно отнести болометры, пирозлектрические фотоприемники, газонаполненный конденсаторный микрофон и т. п. К фотоприемным устройствам с оптическим считыванием относятся приемник Голея, приемник с использованием температурной зависимости края поглощения полупроводника, эвапорограф.

Принцип действия эвапорографа (Фотоприемники видимого и ИК диапазонов. - М. : Радио и связь, 1985, с.39, 94) основан на изменении толщины тонкой масляной пленки от температуры. Регистрируемое инфракрасное излучение изменяет температуру масляной пленки. Скорость испарения масла зависит от температуры. В результате, толщина пленки зависит от температуры. При этом масляная пленка дополнительно освещается однородным потоком видимого света. Наблюдаемая интерференционная картинка зависит от толщины масляной пленки, а следовательно, от ее температуры.

Недостатком устройства является необходимость периодически восстанавливать масляную пленку из-за испарения масла.

Известно неохлаждаемое устройство регистрации теплового излучения (патент США N 05844238, опубликован 1.12.1998 г.), принцип действия которого основан на измерении емкости конденсатора, светопоглощающая обкладка которого выполнена из проводящего электрический ток материала, конструкция крепления этой обкладки к подложке содержит электропроводящий элемент, термоизолирующий элемент и элемент из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения. Поглощение регистрируемого инфракрасного излучения приводит к изменению температуры обкладки конденсатора и элемента из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения, что приводит к деформации последнего и изменению положения светопоглощающей обкладки конденсатора по отношению к неподвижной обкладке, размещенной на подложке. Изменение положения светопоглощающей обкладки приводит к изменению емкости конденсатора, которая измеряется с помощью специальной схемы, выполненной на полупроводниковой подложке устройства. Конструкция устройства допускает матричную организацию, при этом схема измерения емкости (тоже матричная) дополняется схемой коммутатора, сигнал на выходе которого последовательно во времени равен сигналу с каждого отдельного фотоприемника (пикселя) матрицы.

Для стабилизации режима работы устройства и уменьшения теплообмена его поглощающей обкладки конденсатора с атмосферой подложка помещена в вакуумный корпус с фронтальным просветленным окном. Для стабилизации рабочей температуры подложки устройство содержит стабилизатор температуры. Тепловое изображение наблюдаемых объектов фокусируется на подложку с помощью инфракрасного объектива, входящего в состав устройства.

Недостатком устройства является конструктивно необходимый электропроводящий элемент, который проводит тепло и уменьшает тепловое сопротивление между поглощающей обкладкой конденсатора и подложкой, что, в свою очередь, приводит к ухудшению чувствительности устройства.

Недостатком также является относительная сложность изготовления устройства, заключающаяся в необходимости создания подвижной поглощающей обкладки конденсатора с конструкцией ее крепления (по сути механической системы) на поверхности электронной схемы. Дополнительные технологические операции неизбежно уменьшают процент выхода годных приборов, следовательно, повышают их себестоимость.

Техническим результатом изобретения является увеличение чувствительности устройства регистрации теплового излучения при снижении его себестоимости.

Технический результат достигается тем, что в устройство регистрации теплового излучения, состоящее из инфракрасного объектива, вакуумного корпуса с фронтальным просветленным окном, содержащего апертурную диафрагму, стабилизатор температуры и подложку с закрепленными на ее фронтальной поверхности, посредством термоизолирующих элементов и элементов из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения, пластин в количестве $n \times m$, где n - число строк, m - число столбцов, с поглощающей и зеркальной поверхностями, дополнительно введены тыльное окно вакуумного корпуса, источник монохроматического видимого света, расположенный с тыльной стороны подложки, свет которого направлен на тыльную сторону подложки, проходит на фронтальной стороне подложки и зеркальную поверхность светопоглощающей пластины; и регистрирующий прибор, чувствительный к видимому свету, регистрирующий отраженные зеркальной поверхностью каждой пластины и фронтальной поверхностью подложки интерферирующие между собой лучи, а подложка

выполнена из прозрачного для видимого света диэлектрического или полупроводникового материала.

Подложка является плоскопараллельной полированной пластиной. Конструкция крепления светопоглощающей пластины не содержит электропроводящего элемента, что увеличивает ее тепловое сопротивление.

Вакуумный корпус содержит два оптических окна: фронтальное, просветленное для регистрируемого инфракрасного излучения, и тыльное, просветленное для света дополнительного источника. Между фронтальным окном и подложкой размещена апертурная диафрагма.

Устройство содержит регистрирующий, фоточувствительный к названному свету, прибор, в качестве которого может использоваться видео или телекамера, фотоаппарат или глаз наблюдателя. Регистрирующий прибор может иметь в своем составе все известные устройства с алгоритмами их работы для улучшения качества изображения, например, двойную коррелированную выборку, устройство подавления геометрического шума, устройство выравнивания чувствительности; а также блоки для математической обработки и записи (хранения) изображений, дисплей и клавиатуру.

На фиг. 1 представлена блок-схема устройства.

На фиг. 2 показан ход лучей при оптическом считывании.

На фиг. 3 представлен график зависимости относительной интенсивности отраженного света от расстояния между зеркальной поверхностью светопоглощающей пластины и фронтальной плоскостью подложки, выраженного в единицах длины волны излучения от источника видимого света.

На фиг. 4 представлено семейство графиков зависимостей относительной интенсивности отраженного света от расстояния между зеркальной поверхностью светопоглощающей пластины и фронтальной плоскостью подложки, выраженного в единицах длины волны видимого света для разного спектрального состава излучения от источника видимого света.

На фиг. 5 представлено семейство графиков зависимостей относительной интенсивности отраженного света от расстояния между свободным краем (на фиг. 1, 2 этот край - справа) светопоглощающей пластины с зеркальной поверхностью и фронтальной плоскостью подложки, выраженного в единицах длины волны излучения от источника видимого света для разных значений расстояния между закрепленным краем пластины (на фиг. 1, 2 этот край - слева) и фронтальной плоскостью подложки, выраженного в единицах длины волны излучения от источника видимого света.

На фиг. 1 представлена блок-схема устройства, где (1) - инфракрасный объектив, (2) - фронтальное окно с просветляющими покрытиями, (3) - апертурная диафрагма, (4) - термоизолирующий элемент, (5) - элемент из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения, (6) - светопоглощающая пластина с поглощающим покрытием (7) и зеркальной поверхностью (8), (9) - подложка (диэлектрическая или полупроводниковая плоскопараллельная полированная пластина), (10) - стабилизатор температуры подложки, (11) - просветляющее покрытие, (12) - тыльное окно с просветляющими покрытиями, (13) - дополнительный объектив или окуляр, (14) - источники видимого света, (15) - регистрирующий прибор.

На фиг. 2 показан ход лучей при оптическом считывании, где d_0 - расстояние между закрепленным краем светопоглощающей пластины и фронтальной поверхностью подложки, d - расстояние между свободным краем светопоглощающей пластины и фронтальной поверхностью подложки, I_0 - плоская монохроматическая волна, падающая на фронтальную поверхность подложки из ее объема, I_1, I_3, I_5, I_7 - отраженные лучи, I_2, I_4, I_6 - лучи, падающие на зеркальную поверхность светопоглощающей пластины.

На фиг. 3 представлен график зависимости относительной интенсивности отраженного света $|I/I_0|^2$ от расстояния d между зеркальной поверхностью светопоглощающей пластины и фронтальной плоскостью подложки, выраженного в единицах длины волны излучения от источника видимого света.

На фиг. 4 представлено семейство графиков зависимостей относительной интенсивности отраженного

света $|I/I_0|^2$ от расстояния d между зеркальной поверхностью светопоглощающей пластины и фронтальной плоскостью подложки, выраженного в единицах длины волны видимого света λ для разного спектрального состава излучения от источника видимого света, где (16) - зависимость для света с длиной волны λ (17) - зависимость для света с длиной волны 2λ (18) - зависимость для света, содержащего сумму двух волн с одинаковыми амплитудами и длинами волн λ и 2λ

На фиг. 5 представлено семейство графиков зависимостей относительной интенсивности отраженного света $|I/I_0|^2$ от расстояния d между свободным краем (на фиг. 1,2 этот край - справа) светопоглощающей пластины с зеркальной поверхностью и фронтальной плоскостью подложки, выраженного в единицах длины волны излучения от источника видимого света λ для разных значений d_0 - расстояния между закрепленным краем пластины (на фиг. 1,2 этот край - слева) и фронтальной плоскостью подложки, выраженного в единицах λ - длины волны излучения от источника видимого света, где (19) - зависимость при $d_0 = 0.05 \lambda$ (20) - зависимость при $d_0 = 0.45 \lambda$ (21) - зависимость при $d_0 = 0.5 \lambda$ 22 - зависимость при $d_0 = 0.55 \lambda$

Рассмотрим работу устройства на примере одиночного фотоприемника. Инфракрасное излучение проходит через просветленное фронтальное окно (2), апертурную диафрагму (3) и поглощается в поглощающем покрытии (7). Выделившееся при этом тепло нагревает пластину (6) и элемент из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения (5), что приводит к его деформации и изменению положения пластины (6) относительно подложки (9). Свет от источников (14) проходит через просветленное тыльное окно (12), просветляющее покрытие (11), подложку (9). Часть излучения отражается от фронтальной поверхности подложки (9) - первая отраженная волна, а часть - проходит и отражается от зеркальной поверхности (8) пластины (6) - вторая отраженная волна. Обе отраженные волны интерферируют между собой, причем разность фаз первой и второй волны зависит от расстояния между пластиной (6) и подложкой (9). Следовательно, интенсивность отраженного излучения зависит от положения пластины (6), определяемого ее и элемента (5) температурами. Отраженное излучение проходит через подложку (9), просветляющее покрытие (11), просветленное окно (12), объектив (или окуляр) (13) и регистрируется прибором (15).

Рассчитаем интенсивность отраженного света. Пусть на фронтальную поверхность подложки, нормально к ее плоскости (на фиг. 2 показана волна, падающая под некоторым углом к нормали), из объема падает плоская монохроматическая волна

$$I_0 = A_0 \exp(i \omega t),$$

где A - амплитуда

$$i^2 = -1;$$

ω - частота волны;

t - время.

Тогда для волн можно записать (см. фиг. 2):

$$I_1 = R \cdot I_0; \quad I_2 = (1-R) \cdot I_0 \cdot \exp(-2\pi i \cdot 2d/\lambda); \quad (1)$$

$$I_3 = (1-R) \cdot I_2 = (1-R)^2 \cdot I_0 \cdot \exp(-2\pi i \cdot 2d/\lambda); \quad (2)$$

$$I_4 = R \cdot I_2 \cdot \exp(-2\pi i \cdot 2d/\lambda) = \\ = R \cdot (1-R) \cdot I_0 \cdot \exp(-2\pi i \cdot 4d/\lambda); \quad (3)$$

$$I_5 = (1-R) \cdot I_4 = R \cdot (1-R)^2 \cdot I_0 \cdot \exp(-2\pi i \cdot 4d/\lambda); \quad (4)$$

$$I_6 = R \cdot I_4 \cdot \exp(-2\pi i \cdot 2d/\lambda) = \\ = R^2 \cdot (1-R) \cdot I_0 \cdot \exp(-2\pi i \cdot 6d/\lambda); \quad (5)$$

$$I_7 = (1-R) \cdot I_6 = R^2 \cdot (1-R)^2 \cdot I_0 \cdot \exp(-2\pi i \cdot 6d/\lambda); \quad (6)$$

и так далее. Здесь

R - коэффициент отражения от фронтальной плоскости подложки (9);

d - расстояние от пластины (6) до подложки (9);

λ - длина волны излучения источника (14);

$$\pi = 3,1415...$$

Найдем сумму отраженных лучей, т.е. $I = I_1 + I_3 + I_5 + I_7 + \dots$

$$I = R \cdot I_0 + I_0 \cdot (1-R)^2 \cdot \exp(-2\pi i \cdot 2d/\lambda) / (1 - \\ - R \cdot \exp(-2\pi i \cdot 2d/\lambda)). \quad (7)$$

Используя формулу Эйлера, получаем:

$$I = I_0 \cdot R + I_0 \cdot (1-R)^2 (\cos d - R) / (1 + R^2 - 2R \cos d) - \\ - i \cdot I_0 \cdot (1-R)^2 \sin d / (1 + R^2 - 2R \cos d), \quad (8)$$

где

$$\alpha = 4 \pi d / \lambda \quad (9)$$

Найдем модуль этого комплексного числа: -

$$|I/I_0|^2 = [R + (1-R)^2 (\cos d - R) / (1 + R^2 - 2R \cos d)]^2 + \\ + [(1-R)^2 \sin d / (1 + R^2 - 2R \cos d)]^2 = \\ = 2R - 1 - 2(R-1)^3 / (1 + R^2 - 2R \cos d). \quad (10)$$

При $d = \lambda/4$ имеем $\alpha = \pi$ $\cos \alpha = -1$ и $|I/I_0|^2 = 2R - 1 - 2(R-1)^3 / (1+R)^2 = (3R-1)^2 / (1+R)^2$, видно, что при $R = 1/3$ и $d = \lambda/4$ относительная интенсивность отраженного света равна нулю (11).

При $d = \lambda/2$ имеем $\alpha = 2\pi$ $\cos \alpha = 1$ и $|I/I_0|^2 = 2R - 1 - 2(R-1)^3 / (1-R)^2 = 1$ при любом R (12).

Учитывая (11), необходимо отметить, что для достижения максимальной глубины модуляции

светового потока коэффициент отражения от фронтальной поверхности подложки должен быть порядка $1/3$. Это можно обеспечить выбором материала подложки с показателем преломления порядка $n \approx 3.7$, либо напылением частично прозрачного покрытия на фронтальную поверхность подложки.

На фиг. 3 представлен график зависимости интенсивности отраженного света от расстояния d между зеркальной поверхностью (8) и фронтальной плоскостью подложки (9), выраженного в единицах длины волны света λ от источника (14). Данный график показывает, что передаточная характеристика устройства является периодической функцией. Взаимно однозначное соответствие между положением пластины (6) и величиной интенсивности отраженного света может быть получено, например, на участке $0.25 < d/\lambda < 0.5$. Здесь сигнал зависит монотонно от d/λ однако при дальнейшем увеличении ($d/\lambda > 0.5$), сигнал уменьшается и взаимно однозначное соответствие нарушается. Поправить положение в этом случае возможно, если увеличить длину волны света от источника (14) примерно в полтора раза и повторно измерить сигнал. Сопоставляя первое и второе измерение, можно однозначно определить положение пластины, связанное с ее температурой.

На фиг. 4 представлено семейство графиков зависимостей интенсивности отраженного света от расстояния d между зеркальной поверхностью (8) и фронтальной плоскостью подложки (9), выраженного в единицах длины волны света λ от источника (14) для разного спектрального состава света от источника (14). Зависимость (16) совпадает с графиком, приведенным на фиг. 3, зависимость (17) получена для света с длиной волны в два раза превышающей длину волны света, зависимость (18) получена для света, состоящего из волн с λ и 2λ одинаковыми амплитудами. Видно, что спектральный состав света от источника (14) влияет на передаточную характеристику устройства.

В реальных устройствах пластина (6) может перемещаться, в зависимости от конструкции крепления, параллельно либо не параллельно подложке. В последнем случае можно назвать правый край (на фиг. 1,2) пластины свободным, а левый - закрепленным. Тогда пластина (6) в результате изменения ее температуры будет изменять угол наклона к подложке (9). Интегрируя [10] по координате, параллельной плоскости подложки, от закрепленного до свободного конца пластины (6), получаем семейство графиков зависимостей интенсивности отраженного света от расстояния d между свободным краем (на фиг. 1, 2 этот край - справа) пластины (6) и фронтальной плоскостью подложки (9), выраженного в единицах длины волны света λ от источника (14), для разных значений расстояния d_0 между закрепленным краем пластины (6) (на фиг. 1,2 этот край - слева) и фронтальной плоскостью подложки (9), выраженного в единицах длины волны света λ от источника (14) (фиг. 5). Здесь зависимость (19) построена для $d_0 = 0.05 \lambda$ (20) - для $d_0 = 0.45 \lambda$ (21) - для $d_0 = 0.5 \lambda$ (22) - для $d_0 = 0.55 \lambda$. Из графиков видно, что в зависимости от величины $d_0 \lambda$ и для обеспечения режима работы устройства на "удобном" участке передаточной характеристики (например, для $d_0 = 0.05 \lambda$ такой

участок может быть выбран с центром в точке $d/\lambda \approx 0.1$) может потребоваться начальное смещение положения свободного края пластины (6). Такое смещение может быть обеспечено выбором соответствующей технологии изготовления и (или) рабочей температуры устройства. Для ряда применений может потребоваться изменение названного смещения в зависимости от величины регистрируемого полезного сигнала, что можно обеспечить введением в устройство дополнительной связи между блоками (15) и (10).

Изменение спектрального состава света источника (14) позволяет изменять передаточную характеристику устройства (см. фиг. 4). Изменение спектрального состава света источника (14) в зависимости от величины регистрируемого полезного сигнала позволит реализовать местную обратную связь (введением дополнительной связи между блоками (15) и (14)), что может оказаться полезным для ряда применений.

Конструкция устройства допускает матричную организацию с числом пикселей (содержащих конструктивные элементы (4), (5), (6), (7), (8)) $n \times m$, n - число строк, m - число столбцов, размещенных на общей подложке (9). В реальных матричных устройствах числа n и m могут быть в диапазоне 1

$\cong 10000$, $1 \cong n \cong 10000$.

Матрица фоточувствительных элементов, состоящих из термоизолирующего элемента (4), элемента из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения (5), светопоглощающей пластины (6) с поглощающим покрытием (7) и зеркальной поверхностью (8), изготовлена по технологии, аналогичной описанной в работе "An Uncooled IR Imager with 5 mK NEDT", SPIE, v.3061, p.210.

Подложка (9) выполнена из оптического стекла, но может быть выполнена, например, из лейкосапфира или вырожденного кремния. В последнем случае источник (14) должен излучать свет с длиной волны в диапазоне от края поглощения вырожденного кремния до края поглощения невырожденного кремния, а регистрирующий прибор может быть изготовлен из невырожденного кремния.

Светопоглощающие пластины (6) выполнены из алюминия с напыленным слоем светопоглощающего материала (7), углерода. Для изготовления пластин (6) можно использовать другие металлы, например: серебро, медь, никель, цинк. Светопоглощающий слой (7) можно изготавливать, например, из черной платины или черного серебра. Элемент из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения (5) выполнен из слоя алюминия и слоя нитрида кремния. Термоизолирующий элемент (4) выполнен из нитрида кремния. Возможна замена нитрида кремния на карбид кремния или другие материалы с теплопроводностью менее $5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{оС)}$, а алюминия на другие металлы с близкими коэффициентами температурного расширения, например: серебро, медь, никель, цинк. Расстояние между закрепленным краем светопоглощающей пластины (6) и фронтальной поверхностью подложки (9) было выбрано равным примерно половине длины волны света источника (14).

Здесь следует отметить, что предлагаемая нами конструкция устройства позволяет использовать при его изготовлении не только стандартные технологические приемы и режимы, но и приемы, недоступные в стандартной кремниевой технологии.

Инфракрасный объектив (1) изготовлен из кремниевых и германиевых линз, но может быть выполнен из других материалов, прозрачных для регистрируемого теплового излучения, или по зеркальной схеме. Окно (2) изготовлено из кремния, но может быть изготовлено из других материалов, прозрачных для регистрируемого теплового излучения. Окно (12) и объектив (13) - из оптического стекла, но может быть изготовлено из других материалов, прозрачных для видимого света. В качестве источника света (14) использован светодиод. Можно использовать набор из светодиодов, излучающих свет с одинаковой или разной длиной волны и схемой их питания, имеющей управляющий вход, соединенный с выходом блока (15).

Стабилизатор температуры был выполнен в виде массивного медного кольца, но может быть выполнен в виде блока, имеющего в своем составе нагреватель, холодильник, схему измерения температуры подложки, схемы питания, управления и регулирования режима работы нагревателя и холодильника, управляющий вход, подключенный к выходу прибора (15).

Устройство может содержать в своем составе соединенные с прибором (15) блоки калибровки чувствительности и блоки измерения параметров окружающей среды, влияющих на точность измерения температуры объектов.

Снижение себестоимости изготовления опытного образца устройства выразилось в уменьшении числа требуемых для изготовления фоточувствительного элемента фотошаблонов, примерно в три раза. При серийном выпуске выигрыш в себестоимости может оказаться менее значительным и будет равен разности в стоимости кремниевой микросхемы и стеклянной подложки, умноженной на число, зависящее от процента выхода по технологическим операциям изготовления фоточувствительных элементов. Теоретически рассчитанный уровень чувствительности для изготовленного устройства составил 3 мОС , что превышает известный уровень чувствительности для аналогичных устройств.

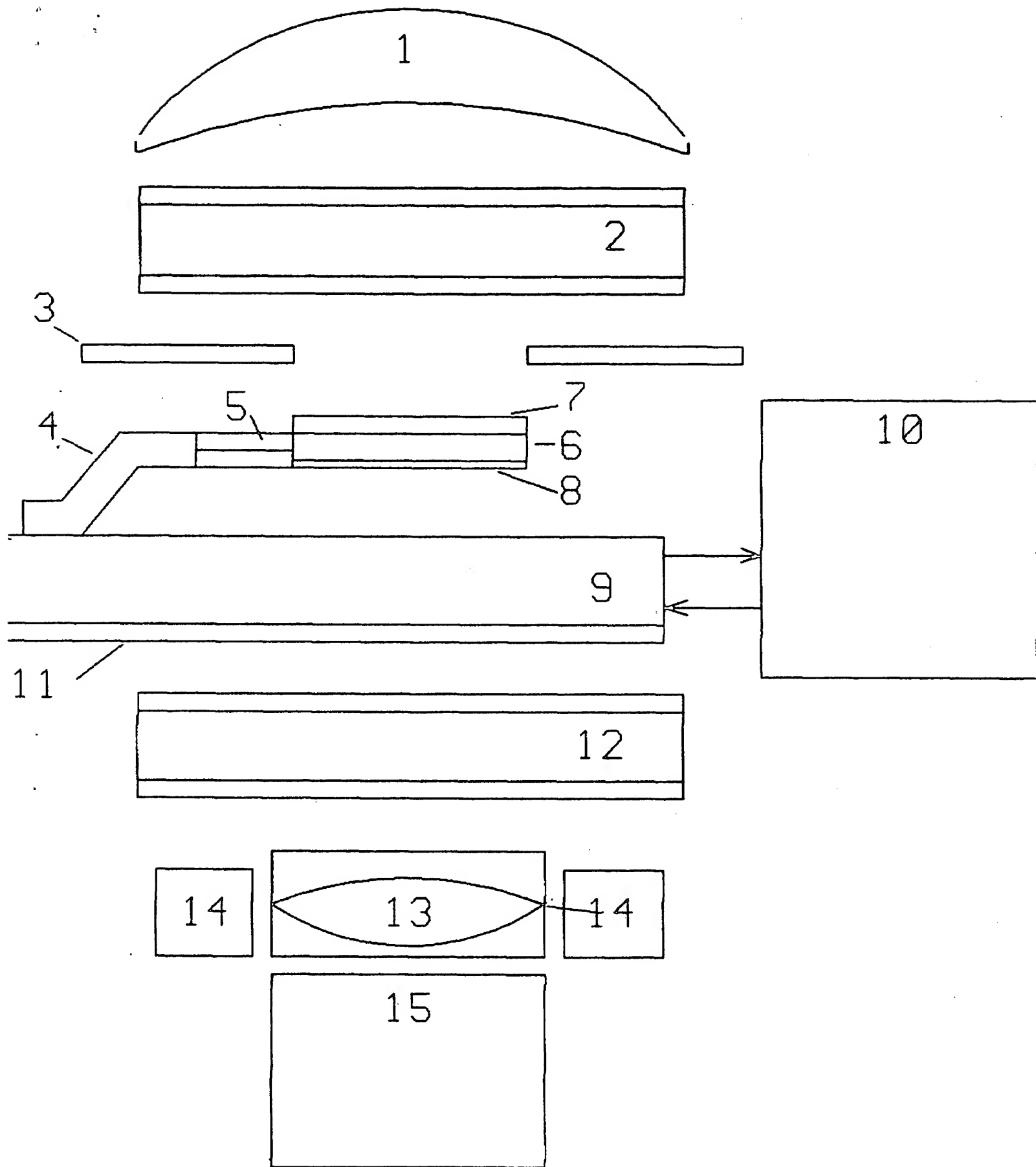
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Устройство регистрации теплового излучения, состоящее из инфракрасного объектива, вакуумного корпуса с просветленным фронтальным окном, содержащего апертурную диафрагму, стабилизатор

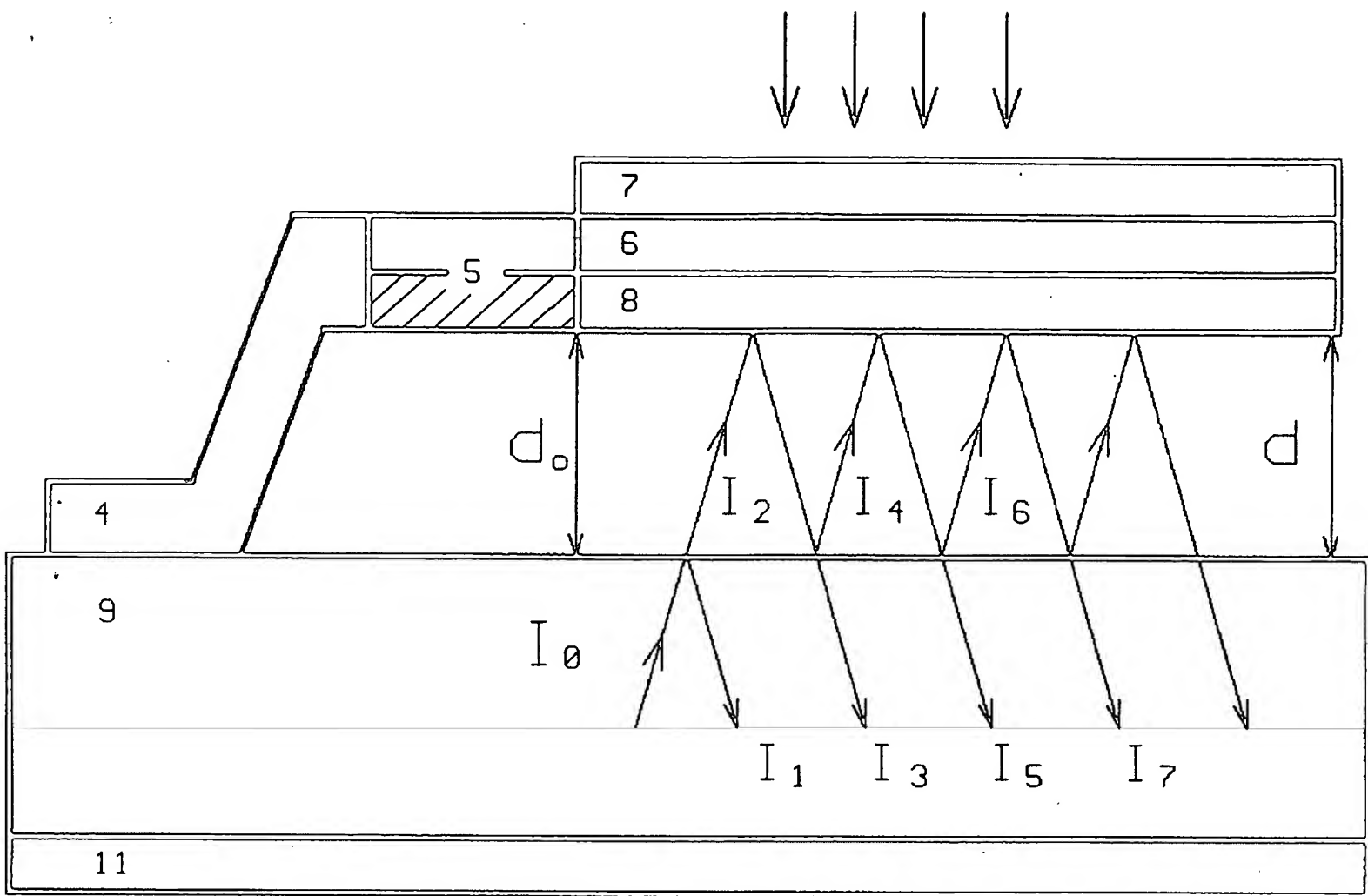
температуры и подложку с закрепленными на ее фронтальной поверхности, посредством термоизолирующих элементов и элементов из двух слоев материалов с разными коэффициентами термического расширения, пластин в количестве $n \cdot m$, где n - число строк, m - число столбцов, с поглощающей и зеркальной поверхностями, отличающееся тем, что в него дополнительно введены тыльное окно вакуумного корпуса, источник монохроматического видимого света, расположенный с тыльной стороны подложки, свет которого направлен на тыльную сторону подложки, проходит на фронтальную сторону подложки и зеркальную поверхность светопоглощающей пластины, и регистрирующий прибор, чувствительный к видимому свету, регистрирующий отраженные зеркальной поверхностью каждой пластины и фронтальной поверхностью подложки интерферирующие между собой лучи, а подложка выполнена из прозрачного для видимого света диэлектрического или полупроводникового материала.

РИСУНКИ

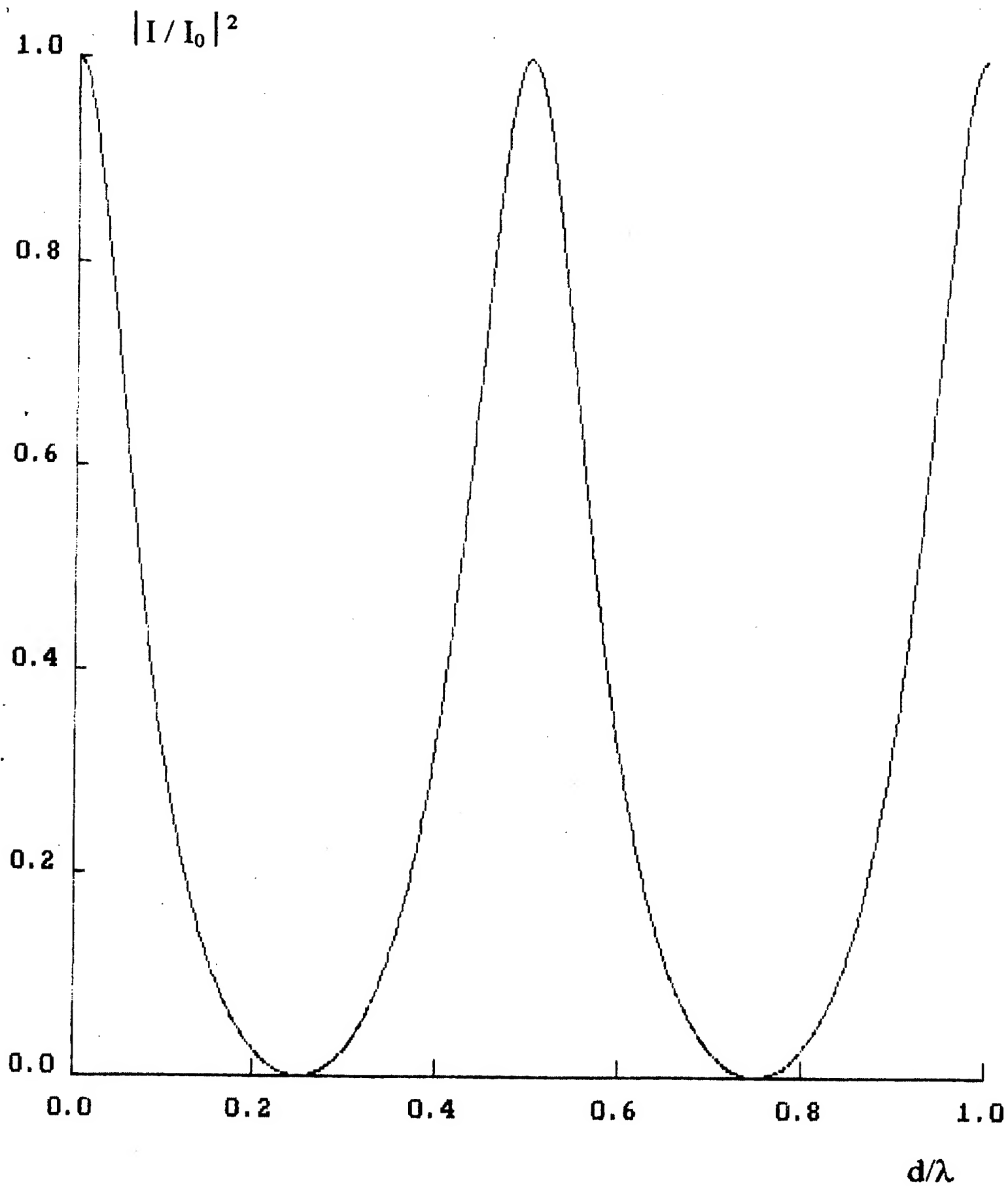
Рисунок 1, Рисунок 2, Рисунок 3, Рисунок 4, Рисунок 5



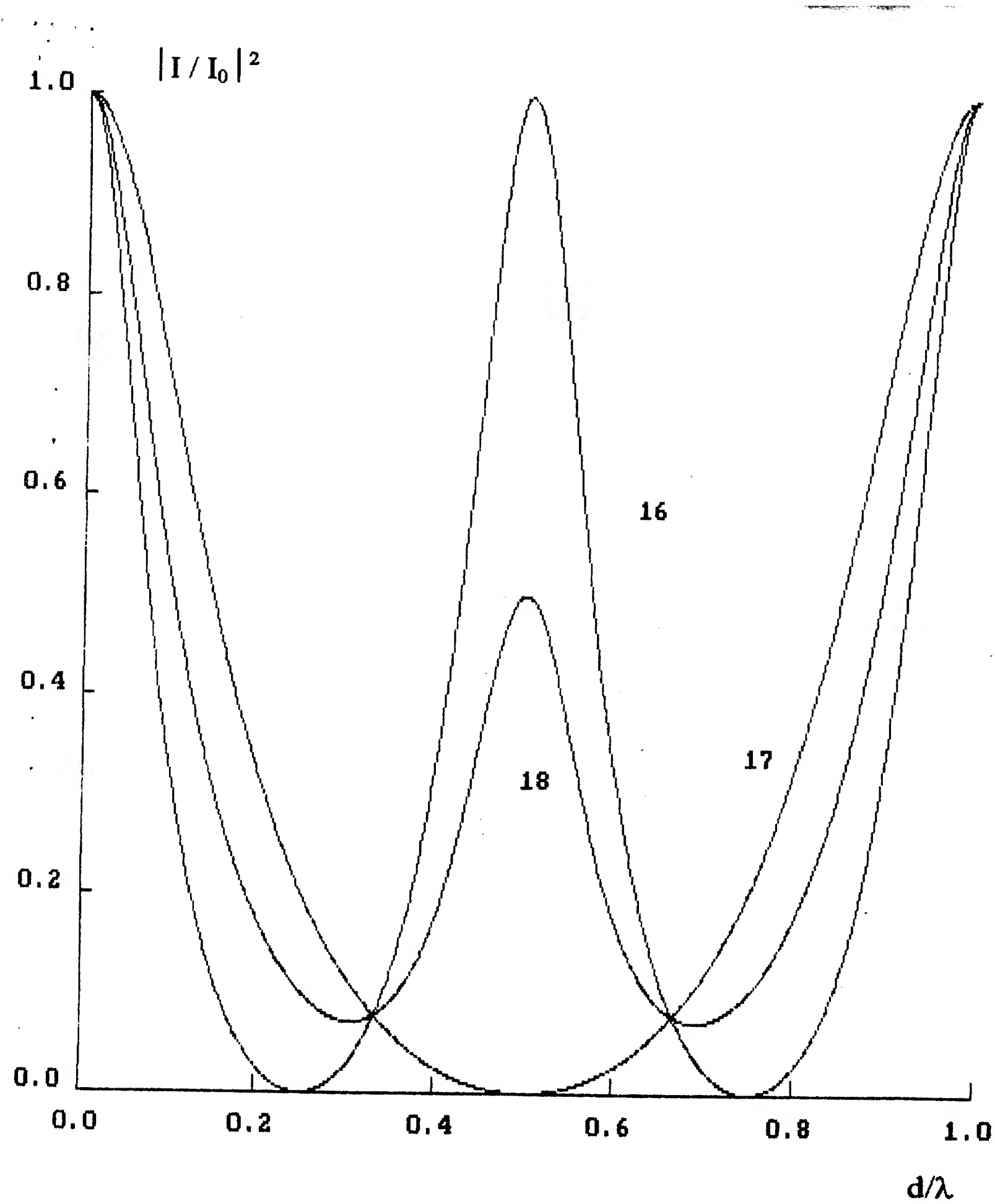
Фиг. 1



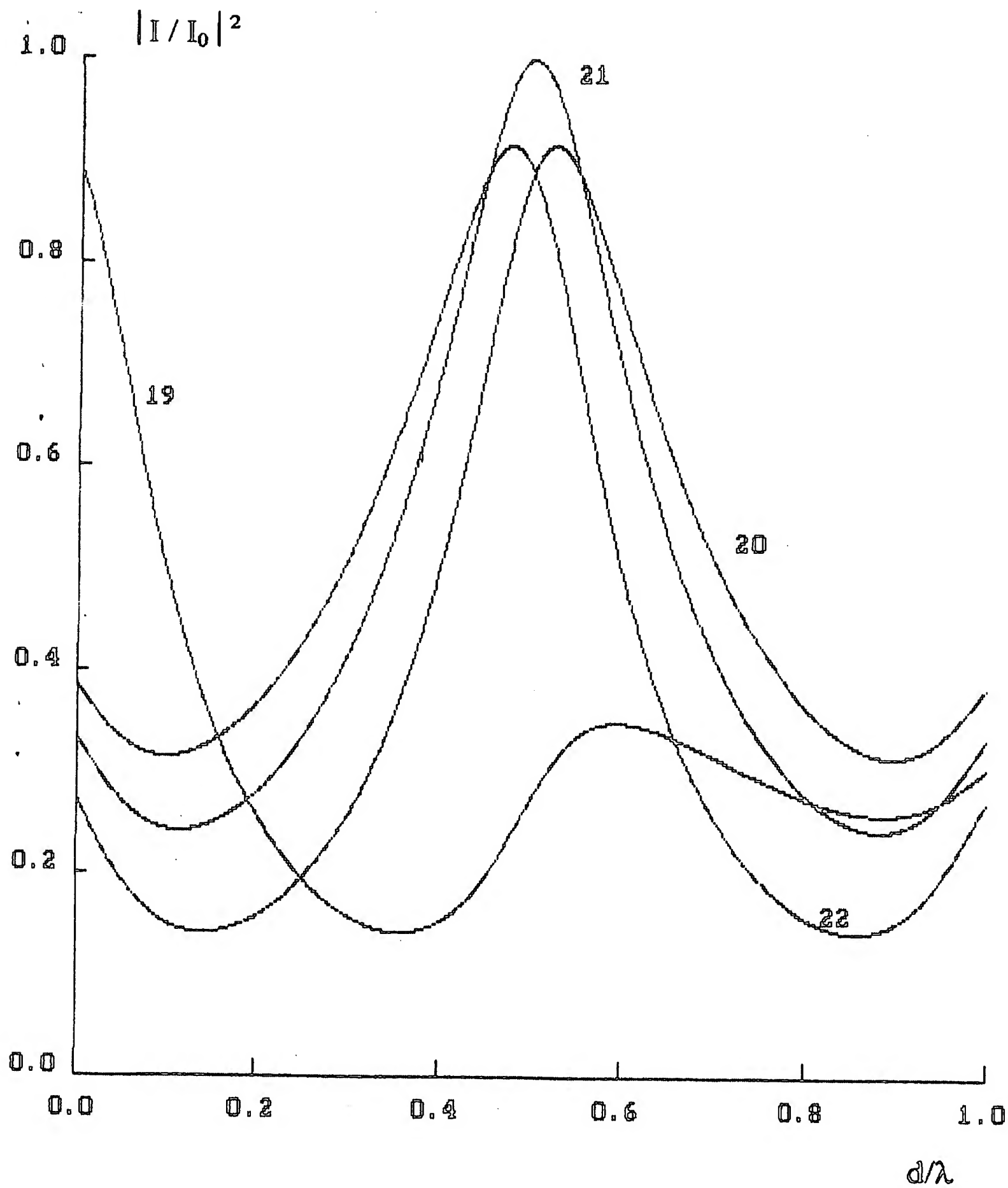
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5